

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-50560
(P2002-50560A)

(43)公開日 平成14年2月15日 (2002.2.15)

(51) Int.Cl.⁷ 識別記号
 H 01 L 21/027
 G 01 B 11/00
 G 03 F 7/20 521
 G 12 B 5/00

F I
 G 01 B 11/00
 G 03 F 7/20
 G 12 B 5/00
 H 01 L 21/30
 C 2 F 0 6 5
 5 2 1 2 F 0 7 8
 T 5 F 0 4 6
 5 2 5 W
 5 1 5 G

審査請求 未請求 請求項の数13 O.L. (全 17 頁)

(21)出願番号 特願2000-234746(P2000-234746)

(71)出願人 000004112

(22)出願日 平成12年8月2日 (2000.8.2)

株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号(72)発明者 高橋 順
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内(74)代理人 100102901
弁理士 立石 篤司

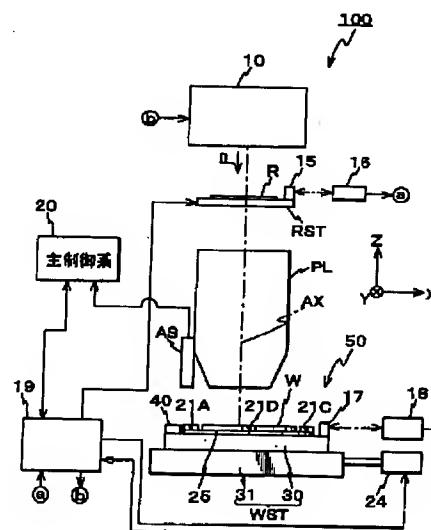
最終頁に続く

(54)【発明の名称】ステージ装置、計測装置及び計測方法、露光装置及び露光方法

(57)【要約】

【課題】アライメント顕微鏡のT I S計測に好適に用いることができるステージ装置を提供する。

【解決手段】2次元面内で移動するステージ (WS)
T) 上に基板ホルダ (25) が搭載され、この基板ホルダが、駆動装置により、基板 (W) を保持して前記2次元面に直交する所定の回転軸の回りにほぼ180°回転可能となっている。従って、例えば、アライメント顕微鏡のT I S計測に際して、基板を取り外し、基板を回転させた後基板ホルダ上へ再度載置するという面倒な作業を行う必要がなくなる。また、この場合、基板の回転は基板ホルダ上に基板を保持したまま行われるので、回転の前後における基板の中心位置ずれ等が生じるおそれもない。従って、アライメント顕微鏡のT I S計測を短時間で、かつ高精度に行うことが可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板を保持するステージ装置であって、2次元面内で移動するステージと；前記ステージ上に搭載され、前記基板を保持して前記2次元面に直交する所定の回転軸の回りにほぼ180°回転が可能な基板ホルダと；前記基板ホルダを回転駆動する駆動装置とを備えるステージ装置。

【請求項2】 基板上に形成されたマークを光学的に検出するマーク検出系に起因する検出ずれを計測する計測装置であって、
2次元面内で移動するステージと；前記ステージの位置を検出する位置検出系と；前記ステージ上に搭載され、前記基板を保持して前記2次元面に直交する所定の回転軸の回りにほぼ180°回転が可能で、前記基板の保持面の外側の部分に少なくとも1つの基準マークが配置された基板ホルダと；前記基板ホルダを回転駆動する駆動装置と；前記基準マークのうちの少なくとも1つの特定の基準マークの位置情報と前記基板上の少なくとも1つの選択された位置合わせマークの位置情報を、前記基板ホルダの向きが所定方向に設定されている第1の状態で、前記マーク検出系と前記位置検出系とを用いて検出する第1の検出制御系と；前記駆動装置を介して前記基板ホルダを前記第1の状態から180°回転させた第2の状態で、前記第1の状態で前記位置情報が検出された前記各マークの位置情報を前記マーク検出系と前記位置検出系とを用いて検出する第2の検出制御系と；前記第1の検出制御系と前記第2の検出制御系との検出結果を用いて前記マーク検出系に起因する検出ずれを算出する演算装置と；を備える計測装置。

【請求項3】 前記第1の検出制御系及び前記第2の検出制御系の検出結果は、1つの基準マークと前記基板上の特定の1つの位置合わせマークとの位置情報であることを特徴とする請求項2に記載の計測装置。

【請求項4】 前記第1の検出制御系及び前記第2の検出制御系の検出結果は、同一の複数の基準マークの位置情報をそれぞれ含み、

前記演算装置は、前記複数の基準マークの位置情報をそれぞれ統計処理して前記第1、第2の状態における前記基板ホルダの位置に関する情報を算出し、該算出結果を用いて前記マーク検出系に起因する検出ずれを算出することを特徴とする請求項2に記載の計測装置。

【請求項5】 前記第1の検出制御系及び前記第2の検出制御系の検出結果は、同一の複数の位置合わせマークの情報をそれぞれ含み、

前記演算装置は、前記複数の位置合わせマークの位置情報をそれぞれ統計処理して前記第1、第2の状態における前記基板の位置に関する情報を算出し、該算出結果を用いて前記マーク検出系に起因する検出ずれを算出することを特徴とする請求項2又は4に記載の計測装置。

【請求項6】 エネルギビームにより基板を露光して前

記基板上に所定のパターンを形成する露光装置であって、

請求項2～5のいずれか一項に記載の計測装置と；前記計測装置により計測された前記マーク検出系に起因する検出ずれを補正するように、露光の際の前記ステージの位置を制御する制御装置と；を備える露光装置。

【請求項7】 基板上に形成されたマークを光学的に検出するマーク検出系に起因する検出ずれを計測する計測方法であって、

外周部の近傍に少なくとも1つの基準マークが形成された基板ホルダ上に、少なくとも1つの位置合わせマークが形成された基板を載置する第1工程と；前記基準マークのうちの少なくとも1つの特定の基準マークと、前記基板上の少なくとも1つの選択された位置合わせマークと、前記基板ホルダの向きが所定方向に設定されている第1の状態で、前記マーク検出系を用いて検出し、該検出結果と前記各マークの検出時の前記基板ホルダの位置とに基づいて前記検出対象の各マークの位置情報を求める第2工程と；前記基板ホルダを前記第1の状態から前記基板の載置面にほぼ直交する所定の回転軸の回りに180°回転させた第2の状態で、前記検出対象の各マークを前記マーク検出系を用いて検出し、該検出結果と前記各マークの検出時の前記基板ホルダの位置とに基づいて前記検出対象の各マークの位置情報を求める第3工程と；前記第2、第3工程でそれぞれ求められた前記検出対象の各マークの位置情報を用いて前記マーク検出系に起因する検出ずれを算出する第4工程と；を含む計測方法。

【請求項8】 前記第2工程及び第3工程では、1つの基準マークと前記基板上の特定の1つの位置合わせマークとの位置情報を求めることを特徴とする請求項7に記載の計測方法。

【請求項9】 前記第2工程及び第3工程で求められる位置情報には、同一の複数の基準マークの位置情報がそれぞれ含まれ、

前記第4工程では、前記複数の基準マークの位置情報をそれぞれ統計処理して前記第1、第2の状態における前記基板ホルダの位置に関する情報を算出し、該算出結果を用いて前記マーク検出系に起因する検出ずれを算出することを特徴とする請求項7に記載の計測方法。

【請求項10】 前記第2工程及び第3工程で求められる位置情報には、同一の複数の位置合わせマークの位置情報がそれぞれ含まれ、

前記第4工程では、前記複数の位置合わせマークの位置情報をそれぞれ統計処理して前記第1、第2の状態における前記基板の位置に関する情報を算出し、該算出結果を用いて前記マーク検出系に起因する検出ずれを算出することを特徴とする請求項7又は9に記載の計測方法。

【請求項11】 前記基板の位置に関する情報は、前記複数の位置合わせマークの位置情報を平均値に基づいて

得られることを特徴とする請求項10に記載の計測方法。

【請求項12】 前記統計処理の結果として得られる前記位置に関する情報は、前記基板ホルダの移動を規定する直交座標系上の座標軸方向のオフセットであることを特徴とする請求項9又は10に記載の計測方法。

【請求項13】 エネルギビームにより基板を露光して前記基板上に所定のパターンを形成する露光方法であつて、

請求項7～12のいずれか一項に記載の計測方法により前記マーク検出系に起因する検出ずれを計測する工程と；計測された前記マーク検出系に起因する検出ずれを補正するように、露光の際の前記基板ホルダの位置を制御する工程と；を含む露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ステージ装置、計測装置及び計測方法、露光装置及び露光方法に係り、更に詳しくは、基板の位置決め装置として好適なステージ装置、該ステージ装置を用いて基板上に形成されたマークを光学的に検出するマーク検出系に固有の検出ずれを計測する計測装置及び計測方法、該計測装置及び計測方法を用いる露光装置及び露光方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、半導体素子、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下「レチクル」と総称する）に形成されたパターンを投影光学系を介してレジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板（以下、「ウエハ」と総称する）上に転写する露光装置が用いられている。近年では、半導体素子の高集積化に伴い、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）や、このステッパに改良を加えたステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）等の逐次移動型の投影露光装置が主流となっている。

【0003】 半導体素子等は、基板上に複数層のパターンを重ね合せて形成されるため、ステッパ等の露光装置では、ウエハ上に既に形成されたパターンと、レチクルに形成されたパターンとの重ね合せを高精度に行う必要がある。このため、ウエハ上のパターンが形成されたショット領域の位置を正確に計測する必要があり、この方法として、ウエハ上の各ショット領域に付設されたアライメントマークの位置をアライメント顕微鏡を用いて計測することがなされている。この場合、アライメントマークの位置を正確に計測するためには、アライメント顕微鏡を構成する光学系に収差等が無い方が望ましい。このような収差等があると、アライメントマークの位置計測誤差が発生するためである。

【0004】 しかし、光学系の収差が全く無い（収差ゼ

ロの）アライメント顕微鏡を製造することは実際問題として不可能であるから、通常は、アライメント顕微鏡の検出ずれを測定し、その測定結果を用いてアライメント結果（測定値）を補正することが行われている。

【0005】 一般に、アライメント顕微鏡の光学収差のうちで、アライメント計測（アライメント顕微鏡を用いたマーク位置計測）において問題になるのは、コマ収差である。コマ収差とは、レンズにおける光束が透過する位置とレンズ中心との位置関係に応じて、レンズを透過した結像光束の結像位置が横にずれるという現象である。従って、光学系にコマ収差があると、検出するマークの線幅、ピッチが広く、回折光の角度が小さい場合には、マークの位置検出ずれは殆ど無視できるレベルとなるが、検出するマークの線幅及びピッチが狭く、回折光の角度が大きい場合には、マークの位置検出ずれは、無視できないレベルとなる。すなわち、光学系にコマ収差があると、同一位置にあるラインパターンであっても、線幅が異なると異なる位置に結像されるため、結果的に検出ずれが生じてしまう。

【0006】 アライメント顕微鏡に起因する検出ずれ（上記の光学系のコマ収差に起因する検出ずれが殆どの部分を占めるが、検出対象であるマークのプロセスに起因する検出ずれ分等も含む）、すなわちTIS（Tool Induced Shift）を求める方法として、ウエハの方向0°の場合と180°の場合の両方の状態で、アライメント顕微鏡によりマーク計測を行って、この計測結果に基づいてTISを求める方法が知られている。前述の如く、光学系にコマ収差があるとパターン線幅に応じて結像位置が異なるため、TIS計測では、太い線幅のマークを基準として、細い線幅のマーク位置を計測することで評価が行われる。

【0007】 以下、従来のTISの計測方法について簡単に説明する。なお、実際のウエハアライメントでは、2次元面内の位置計測が行われるが、ここでは、説明を簡単にするために、1次元の計測を探り上げて説明する。

【0008】 表面上に線幅の広い基準マークと線幅の狭いアライメントマークとが形成された計測専用のウエハ（以下、便宜上「工具ウエハ」という）を用意する。そして、この工具ウエハをウエハホルダ上に載置する。この際、基準マークとアライメントマークとが、所定の直交座標系上の所定の一軸（例えばX軸）に平行な軸に沿って並ぶように工具ウエハをウエハホルダ上に載置して、アライメントマークと基準マークとのX座標をアライメント顕微鏡を用いてそれぞれ計測し、この計測結果から両マークの距離 X_0 を求める。ここで、工具ウエハの中心点（ α, β ）を原点とする上記の直交座標系とそれぞれ平行な直交座標系であるウエハ座標系上における基準マークのX座標をRM、アライメントマークのX座標をAMとする。両マークの距離をXとすると、 $X = AM - RM$ である（これが真値である）。

【0009】上述したように、アライメントマークは線幅が狭いため、その計測結果には無視できないレベルのアライメント顕微鏡のTISが含まれるが、線幅の広い基準マークの計測結果に含まれるTISは零とみなせる。そこで、上記の実測値 X_0 は、アライメントマークのX座標の計測値を $AM_{(0)}$ 、基準マークの計測値を $RM_{(0)}$ として、次式(1)のように表される。

【0010】

$$\begin{aligned} X_0 &= AM_{(0)} - RM_{(0)} \\ &= (AM + \alpha + TIS) - (RM + \alpha) \\ &= AM - RM + TIS \quad \dots \dots (1) \end{aligned}$$

【0011】次に、ウエハをウエハホルダ上から回収

$$\begin{aligned} X_{180} &= RM_{(180)} - AM_{(180)} \\ &= \alpha - RM - (AM - AM + TIS) \\ &= AM - RM - TIS \quad \dots \dots (2) \end{aligned}$$

【0013】上記式(1)、(2)より、アライメント顕微鏡のTISを求める

$$TIS = (X_0 - X_{180}) / 2$$

となる。

【0015】以上のようにして求められたTISは、実際に露光される(実プロセスの)ウエハ上に形成されたアライメントマークの計測値に対する補正值として用いられている。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述したアライメント顕微鏡のTIS計測方法では、基準マークとアライメントマークの両方が形成された特別のウエハ(工具ウエハ)を用意しなければならないとともに、この工具ウエハに形成されたアライメントマークに対するアライメント顕微鏡のTISしか計測できなかった。そのため、実際に露光したいウエハ(実プロセスウエハ)に形成されたアライメントマークに対するアライメント顕微鏡のTISを正確に求めることが困難であり、各実プロセスウエハにおけるアライメント結果を正しく補正することはできなかった。

【0017】また、上記のように工具ウエハをウエハホルダ上から回収し、180°回転し、ウエハホルダ上へ再度載置する、という動作を行うことから、計測作業が面倒であるとともに、180°回転の前後でウエハの中心位置ずれや回転ずれを招くというおそれもあった。このような場合は、結果的にTISの計測精度が低下してしまう。

【0018】本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、例えば、アライメント顕微鏡のTIS計測に好適に用いることができるステージ装置を提供することにある。

【0019】本発明の第2の目的は、実プロセスの基板に対するマーク検出系に起因する検出ずれを、短時間でかつ精度良く計測することができる計測装置及び計測方法を提供することにある。

し、ウエハの中心(前述のウエハ座標系の原点)を中心としてウエハを180°回転した後、再びウエハホルダ上に載置し、上記と同様にアライメントマーク及び基準マークの位置を計測し、両者の距離 X_{180} を求める。この場合、実測値 X_{180} は、アライメントマークのX座標の計測値を $AM_{(180)}$ 、基準マークの計測値を $RM_{(180)}$ として、次式(2)のように表される。

【0012】

【0014】

$$\dots \dots (3)$$

【0020】本発明の第3の目的は、露光精度を向上することができる露光装置及び露光方法を提供することにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、基板(W)を保持するステージ装置であって、2次元面内で移動するステージ(WST)と;前記ステージ上に搭載され、前記基板を保持して前記2次元面に直交する所定の回転軸の回りにほぼ180°回転が可能な基板ホルダ(25)と;前記基板ホルダを回転駆動する駆動装置(74)とを備える。

【0022】これによれば、2次元面内で移動するステージ上に基板ホルダが搭載され、この基板ホルダが、駆動装置により、基板を保持して前記2次元面に直交する所定の回転軸の回りにほぼ180°回転可能となっている。すなわち、基板を基板ホルダから取り外すことなくほぼ180°回転させることができる。従って、例えば、前述したアライメント顕微鏡のTIS計測に際して、基板を基板ホルダから取り外し、回転後基板ホルダ上へ基板を再度載置するという面倒な作業を行う必要がなくなる。また、この場合、基板の回転は基板ホルダ上に基板を保持したまま行われるので、回転の前後における基板の中心位置ずれ等が生じるおそれもない。従って、アライメント顕微鏡のTIS計測を短時間で、かつ高精度に行うことが可能となる。

【0023】ここで、「ほぼ180°」とは、正確に180°である場合の他、例えば180°±10分程度(数mrad程度)の角度をも含み、また、「ほぼ180°回転が可能な」であるから、ほぼ180°を超える角度の回転が可能な場合も当然に含む。

【0024】請求項2に記載の発明は、基板(W)上に形成されたマークを光学的に検出するマーク検出系(A)

S) に起因する検出ずれを計測する計測装置であって、2次元面内で移動するステージ (WST) と；前記ステージの位置を検出する位置検出系 (18) と；前記ステージ上に搭載され、前記基板を保持して前記2次元面に直交する所定の回転軸の回りにほぼ180°回転が可能で、前記基板の保持面の外側の部分に少なくとも1つの基準マーク (FMn) が配置された基板ホルダ (25) と；前記基板ホルダを回転駆動する駆動装置 (74) と；前記基準マークのうちの少なくとも1つの特定の基準マークの位置情報と前記基板上の少なくとも1つの選択された位置合わせマーク (AMn) の位置情報とを、前記基板ホルダの向きが所定方向に設定されている第1の状態で、前記マーク検出系と前記位置検出系とを用いて検出する第1の検出制御系 (20) と；前記駆動装置を介して前記基板ホルダを前記第1の状態から180°回転させた第2の状態で、前記第1の状態で前記位置情報が検出された前記各マークの位置情報を前記マーク検出系と前記位置検出系とを用いて検出する第2の検出制御系 (20) と；前記第1の検出制御系と前記第2の検出制御系との検出結果を用いて前記マーク検出系に起因する検出ずれを算出する演算装置 (20) と；を備える。

【0025】ここで、「マーク検出系に起因する検出ずれ」とは、マーク検出系を構成する光学系の収差分がその大部分を占めるが、検出対象のマークが形成された基板のプロセスに起因する検出ずれ分をも含む、マーク検出系に固有の検出ずれを言い、例えば、前述したTISがこれに該当する。

【0026】これによれば、ステージ上で基板ホルダの向きが所定方向に設定されている第1の状態で、第1の検出制御系により、マーク検出系と位置検出系とを用いて、基板ホルダ上に形成された基準マークのうち特定の少なくとも1つの位置情報と、基板ホルダ上に搭載された基板上の少なくとも1つの選択された位置合わせマークの位置情報とが検出される。次に、第2の検出制御系により、駆動装置を介して基板ホルダが第1の状態から180°回転され、この第2の状態で、マーク検出系と位置検出系とを用いて、第1の状態で位置情報が検出された各マークの位置情報が検出される。そして、演算装置により、第1、第2の検出制御系の検出結果を用いてマーク検出系に起因する検出ずれが算出される。本発明によれば、第1の状態と、第2の状態とで、位置合わせマークと基準マークとの位置関係の情報をそれぞれ求め、それらの両者の位置関係の情報を用いて所定の演算を行うことにより、マーク検出系に起因する検出ずれを簡易且つ精度良く算出することが可能である。その理由は、次の通りである。

【0027】基板が基板ホルダに対して位置ずれしない限り、第1の状態と第2の状態との間で、実際には、基準マークと位置合わせマークとは、位置関係に変化が生

じないにもかかわらず、得られる両者の位置関係の情報は異なったものとなる。これは、それぞれの位置関係の情報にマーク検出系に起因する検出ずれが含まれるためである。従って、第1の状態における両者の位置関係の情報と、第2の状態における両者の位置関係の情報とにに基づいて、所定の演算を行えば、マーク検出系に起因する検出ずれを簡単にかつ精度良く検出することができる。また、この場合、基準マークが基板ホルダ上に形成されているので、如何なる基板をホルダ上に載置しても、上記の検出ずれの計測が可能となり、実際に露光に用いられる基板上のマークに対するマーク検出系の検出ずれの計測が可能となる。

【0028】この場合において、請求項3に記載の発明の如く、前記第1の検出制御系及び前記第2の検出制御系の検出結果は、1つの基準マークと前記基板上の特定の1つの位置合わせマークとの位置情報であることとしても良い。かかる場合には、第1の状態、第2の状態で基準マークと位置合わせマークを1つずつ検出するので、マーク検出系に起因する検出ずれの算出を短時間で行うことが可能となる。

【0029】上記請求項2に記載の発明に係る計測装置において、請求項4に記載の発明の如く、前記第1の検出制御系及び前記第2の検出制御系の検出結果は、同一の複数の基準マークの位置情報をそれぞれ含み、前記演算装置は、前記複数の基準マークの位置情報をそれぞれ統計処理して前記第1、第2の状態における前記基板ホルダの位置に関する情報を算出し、該算出結果を用いて前記マーク検出系に起因する検出ずれを算出することとしても良い。かかる場合には、第1、第2の状態で検出される同一の複数の基準マークの位置情報が統計処理され、各状態での基板ホルダの位置に関する情報が算出されるので、より正確な基板ホルダの位置に関する情報が算出され、ひいては、より正確なマーク検出系に起因する検出ずれの算出が可能となる。

【0030】上記請求項2及び4に記載の発明において、請求項5に記載の発明の如く、前記第1の検出制御系及び前記第2の検出制御系の検出結果は、同一の複数の位置合わせマークの情報をそれぞれ含み、前記演算装置は、前記複数の位置合わせマークの位置情報をそれぞれ統計処理して前記第1、第2の状態における前記基板の位置に関する情報を算出し、該算出結果を用いて前記マーク検出系に起因する検出ずれを算出することとしても良い。かかる場合には、第1、第2の状態で検出される同一の複数の位置合わせマークの位置情報が統計処理され、各状態での基板の位置に関する情報が算出されるので、より正確な基板の位置に関する情報を算出することができ、ひいては、より正確なマーク検出系に起因する検出ずれの算出が可能となる。

【0031】請求項6に記載の発明は、エネルギービーム (IL) により基板 (W) を露光して前記基板上に所定

のパターンを形成する露光装置であって、請求項2～5のいずれか一項に記載の計測装置(18, 20, 50等)と;前記計測装置により計測された前記マーク検出系(AS)に起因する検出ずれを補正するように、露光の際の前記ステージの位置を制御する制御装置(20)と;を備える。

【0032】これによれば、請求項2～5に記載の各計測装置により計測されたマーク検出系に起因する検出ずれを補正するように、制御装置により、露光の際のステージの位置が制御されるので、基板の露光を高精度に行うことが可能になる。

【0033】請求項7に記載の発明は、基板(W)上に形成されたマークを光学的に検出するマーク検出系(AS)に起因する収差を計測する計測方法であって、外周部の近傍に少なくとも1つの基準マーク(FMn)が形成された基板ホルダ(25)上に、少なくとも1つの位置合わせマーク(AMn)が形成された基板を載置する第1工程と;前記基準マークのうちの少なくとも1つの特定の基準マークと、前記基板上の少なくとも1つの選択された位置合わせマークとを、前記基板ホルダの向きが所定方向に設定されている第1の状態で、前記マーク検出系を用いて検出し、該検出結果と前記各マークの検出時の前記基板ホルダの位置とに基づいて前記検出対象の各マークの位置情報を求める第2工程と;前記基板ホルダを前記第1の状態から前記基板の載置面にほぼ直交する所定の回転軸の回りに180°回転させた第2の状態で、前記検出対象の各マークを前記マーク検出系を用いて検出し、該検出結果と前記各マークの検出時の前記基板ホルダの位置とに基づいて前記検出対象の各マークの位置情報を求める第3工程と;前記第2、第3工程でそれぞれ求められた前記検出対象の各マークの位置情報を用いて前記マーク検出系に起因する検出ずれを算出する第4工程と;を含む。

【0034】これによれば、第1工程において、外周部の近傍に少なくとも1つの基準マークが形成された基板ホルダ上に、少なくとも1つの位置合わせマークが形成された基板を載置し、第2工程において、基板ホルダの向きが所定方向に設定されている第1の状態で、基準マークのうちの少なくとも1つの特定の基準マークと、基板上の少なくとも1つの選択された位置合わせマークとを、マーク検出系を用いて検出し、該検出結果と各マークの検出時の基板ホルダの位置とに基づいて検出対象の各マークの位置情報を求める。また、第3工程では、基板ホルダを第1の状態から基板の載置面にほぼ直交する所定の回転軸の回りに180°回転させた第2の状態で、検出対象の各マークをマーク検出系を用いて検出し、該検出結果と各マークの検出時の基板ホルダの位置とに基づいて検出対象の各マークの位置情報を求める。そして、第4工程では、第2、第3工程でそれぞれ求めた検出対象の各マークの位置情報を用いてマーク検出系

に起因する検出ずれを算出する。この場合も、請求項2と同様の理由により、マーク検出系に起因する検出ずれを簡易且つ高精度に求めることができる。

【0035】この場合において、請求項8に記載の発明の如く、前記第2工程及び第3工程では、1つの基準マークと前記基板上の特定の1つの位置合わせマークとの位置情報を求めることとしても良い。かかる場合には、第1の状態、第2の状態で基準マークと位置合わせマークを1つずつ検出するので、マーク検出系に起因する検出ずれの算出を短時間で行うことが可能となる。

【0036】上記請求項7に記載の発明に係る計測方法において、請求項9に記載の発明の如く、前記第2工程及び第3工程で求められる位置情報には、同一の複数の基準マークの位置情報がそれぞれ含まれ、前記第4工程では、前記複数の基準マークの位置情報をそれぞれ統計処理して前記第1、第2の状態における前記基板ホルダの位置に関する情報を算出し、該算出結果を用いて前記マーク検出系に起因する収差を算出することとしても良い。かかる場合には、第1、第2の状態で検出される同一の複数の基準マークの位置情報が統計処理され、各状態での基板ホルダの位置に関する情報が算出されるので、より正確な基板ホルダの位置に関する情報を算出することができ、ひいては、より正確なマーク検出系に起因する検出ずれの算出が可能である。

【0037】上記請求項7及び9に記載の各発明に係る計測方法において、請求項10に記載の発明の如く、前記第2工程及び第3工程で求められる位置情報には、同一の複数の位置合わせマークの位置情報がそれぞれ含まれ、前記第4工程では、前記複数の位置合わせマークの位置情報をそれぞれ統計処理して前記第1、第2の状態における前記基板の位置に関する情報を算出し、該算出結果を用いて前記マーク検出系に起因する検出ずれを算出することとしても良い。かかる場合には、第1、第2の状態で検出される同一の複数の位置合わせマークの位置情報が統計処理され、各状態での基板の位置に関する情報を算出されるので、より正確な基板の位置に関する情報を算出することができ、ひいては、より正確なマーク検出系に起因する検出ずれの算出が可能となる。

【0038】この場合において、請求項11に記載の発明の如く、前記基板の位置に関する情報は、前記複数の位置合わせマークの位置情報の平均値に基づいて得られることとしても良い。

【0039】上記請求項9及び10に記載の各発明に係る計測方法において、請求項12に記載の発明の如く、前記統計処理の結果として得られる前記位置に関する情報は、前記基板ホルダの移動を規定する直交座標系上の座標軸方向のオフセットであることとすることができる。

【0040】請求項13に記載の発明は、エネルギー ム(IL)により基板(W)を露光して前記基板上に所

定のパターンを形成する露光方法であって、請求項7～12のいずれか一項に記載の計測方法により前記マーク検出系に起因する検出ずれを計測する工程と；計測された前記マーク検出系に起因する検出ずれを補正するよう、露光の際の前記基板ホルダの位置を制御する工程と；を含む。

【0041】これによれば、請求項7～12に記載の各計測方法により計測されたマーク検出系に起因する検出ずれを補正するよう、露光の際のステージの位置が制御されるので、基板の露光を高精度に行うことが可能になる。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態を、図1～図5に基づいて説明する。

【0043】図1には、一実施形態に係る露光装置100の概略構成が示されている。この露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置である。この露光装置100は、照明系10、レチクルRを保持するレチクルステージRST、投影光学系PL、基板としてのウエハWが搭載されるステージ装置50、及び装置全体を統括制御する主制御系20等を備えている。

【0044】前記照明系10は、例えば特開平10-12433号公報などに開示されるように、光源、フライアイレンズ又はロッドインテグレータ（内面反射型インテグレータ）等からなる照度均一化光学系、リレーレンズ、可変NDフィルタ、レチクルブラインド、及びダイクロイックミラー等（いずれも不図示）を含んで構成されている。この照明系10では、回路パターン等が描かれたレチクルR上のレチクルブラインドで規定されたスリット状の照明領域部分をエネルギービームとしての照明光ILによりほぼ均一な照度で照明する。ここで、照明光ILとしては、KrFエキシマレーザ光（波長248nm）などの遠紫外光、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）、あるいはF₂レーザ光（波長157nm）などの真空紫外光などが用いられる。照明光ILとして、超高圧水銀ランプからの紫外域の輝線（g線、i線等）を用いることも可能である。

【0045】前記レチクルステージRST上には、レチクルRが、例えば真空吸着により固定されている。レチクルステージRSTは、例えばリニアモータ等を含む不図示のレチクルステージ駆動部によって、レチクルRの位置決めのため、照明系10の光軸（後述する投影光学系PLの光軸AXに一致）に垂直なXY平面内で微少駆動可能であるとともに、所定の走査方向（ここではY方向とする）に指定された走査速度で駆動可能となっている。

【0046】レチクルステージRSTのステージ移動面内の位置は、レチクルレーザ干渉計（以下、「レチクル干渉計」という）16によって、移動鏡15を介して、

例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出される。レチクル干渉計16からのレチクルステージRSTの位置情報はステージ制御系19及びこれを介して主制御系20に供給される。ステージ制御系19では、主制御系20からの指示に応じ、レチクルステージRSTの位置情報に基づいてレチクルステージ駆動部（図示省略）を介してレチクルステージRSTを駆動制御する。

【0047】レチクルRの上方には、不図示ではあるが、一対のレチクルアライメント系が配置されている。この一対のレチクルアライメント系は、照明光ILと同じ波長の照明光にて検出対象のマークを照明するための落射照明系と、その検出対象のマークの像を撮像するためのレチクルアライメント顕微鏡とをそれぞれ含んで構成されている。レチクルアライメント顕微鏡は結像光学系と撮像素子とを含んでおり、レチクルアライメント顕微鏡による撮像結果は主制御系20に供給されている。この場合、レチクルRからの検出光をレチクルアライメント系に導くための不図示の偏向ミラーが移動自在に配置されており、露光シーケンスが開始されると、主制御系20からの指令により、不図示の駆動装置により偏向ミラーはそれぞれレチクルアライメント系と一体的に照明光ILの光路外に退避される。

【0048】前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置され、その光軸AXの方向がZ軸方向とされている。投影光学系PLとしては、例えば両側テレセントリックで所定の縮小倍率（例えば1/5、又は1/4）を有する屈折光学系が使用されている。このため、照明系10からの照明光ILによってレチクルRの照明領域が照明されると、このレチクルRを通過した照明光ILにより、投影光学系PLを介してその照明領域内のレチクルRの回路パターンの縮小像（部分倒立像）が表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハW上に形成される。

【0049】前記ステージ装置50は、ステージとしてのウエハステージWSTと、基板ホルダとしてのウエハホルダ25と、これらウエハステージWST及びウエハホルダ25を駆動するウエハステージ駆動部24とを備えている。前記ウエハステージWSTは、投影光学系PLの図1における下方で、不図示のベース上に配置され、ウエハステージ駆動部を構成する不図示のリニアモータ等によってXY方向へ駆動されるXYステージ31と、該XYステージ31上に載置され、不図示のZ・チルト駆動機構によって、Z方向及びXY面に対する傾斜方向へ微小駆動されるZ・チルトステージ30とを備えている。また、前記ウエハホルダ25は、Z・チルトステージ30上に設けられ、ウエハWを吸着保持するようになっている。

【0050】ウエハホルダ25は、ウエハホルダ25をZ・チルトステージ30とともに一部破碎して示す図2及び図4（A）等を総合すると分かるように、円板状の

形状を有しており、その上面には、図2に示されるように、同心円で径の異なる溝64が複数形成されている。これらの溝64には不図示の吸引孔が多数設けられており、これらの吸引孔を介して不図示のバキュームポンプの真空吸引力によりウエハWがウエハホルダ25上に吸着保持されるようになっている。

【0051】また、Z・チルトステージ30には、図2に示されるように、ウエハホルダ25の下半部が嵌合可能な丸穴72が形成されている。ウエハホルダ25は、この丸穴72にその下半部が嵌合した状態で、不図示の真空吸引機構による真空吸引力により、Z・チルトステージ30に固定されるようになっている。

【0052】前記Z・チルトステージ30の底部には、前記丸穴72の内部の底面の中心部に相当する位置に、上下動・回転機構74が埋め込まれている。この上下動・回転機構74は、不図示のモータ等を含み、一端がウエハホルダ25の底面に固定された駆動軸75を上下動及びほぼ180°回転させる機構である。この上下動・回転機構74は、図1のウエハステージ駆動部24の一部を構成するもので、図1のステージ制御系19によって制御される。

【0053】また、丸穴72の内部の底面上には、ウエハステージ駆動部24を構成する駆動機構により駆動される3本の上下動ピン(センターアップ)78が設けられている。これらの上下動ピン78は、ウエハホルダ25がZ・チルトステージ30上に吸着固定された状態では、それぞれの先端部が、それぞれの上下動ピン78に対向するウエハホルダ25の所定位置にそれぞれ形成された不図示の丸孔をそれぞれ介してウエハホルダ25の上面側に出没可能になっている。従って、ウエハ交換時には、3本の上下動ピン78によってウエハWを3点で支持し、あるいは上下動させたりすることができるようになっている。

【0054】ウエハホルダ25の上面には、図4(A)に示されるように、ウエハWの周囲の部分に所定の位置関係、具体的には正方形の各頂点の位置に、4つの計測用基準板21A, 21B, 21C, 21Dが配設されている。これらの計測用基準板21A, 21B, 21C, 21Dの上面は、ウエハホルダ25上に載置されるウエハWの表面と同じ高さとなるように設定されている。

【0055】これらの計測用基準板21A, 21B, 21C, 21Dの上面には、基準マークFM1, FM2, FM3, FM4がそれぞれ形成されている。これらの基準マークFM1～FM4は、図3の拡大平面図に示されるように、X軸方向に配列された、例えば6μmL/Sマークから成るX軸マーク26Xと、Y軸方向に配列された、例えば6μmL/Sマークから成るY軸マーク26Y、及びX軸方向に配列された例えば0.2μmL/Sマークから成るセグメント(全幅6μm)が、例えば6μmのピッチでX軸方向に配列されたセグメントマー

ク27Xと、Y軸方向に配列された、例えば0.2μmL/Sマークから成るセグメント(全幅6μm)が、例えば6μmのピッチでY軸方向に配列されたセグメントマーク27Yとを備えている。なお、このX軸、Y軸マーク(26X, 26Y)及びセグメントマーク(27X, 27Y)は計測用基準板上に少なくとも一方が形成されれば良く、線幅が6μmと広いX、Y軸マーク(26X, 26Y)の形成が困難な場合には、線幅の狭いセグメントマーク(27X, 27Y)のみを形成することとしても良い。

【0056】なお、計測用基準板21A～21Dは、後述するアライメント顕微鏡ASのTISの計測の基準となるものであるから、アライメント顕微鏡ASの光学収差等によって計測結果が変動しないよう、収差の影響を受け難い形状(ピッチ、段差、組成等)とされている。

【0057】また、図2に示されるように、ウエハステージWSTを構成するZ・チルトステージ30上のウエハW近傍には、基準マーク板40が固定されている。この基準マーク板40の表面は、ウエハホルダ25の表面と同じ高さに設定され、この表面には図4(A)に示されるように所定の位置関係で、一対の第1基準マークMK1, MK3と、第2基準マークMK2とが形成されている。

【0058】図1に戻り、XYステージ31は、走査方向(Y方向)の移動のみならず、ウエハW上の複数のショット領域を前記照明領域と共に露光領域に位置させることができるように、走査方向に直交する非走査方向(X方向)にも移動可能に構成されており、ウエハW上の各ショット領域を走査(スキャン)露光する動作と、次ショットの露光のための走査開始位置まで移動する動作とを繰り返すステップ・アンド・スキャン動作を行う。

【0059】ウエハステージWSTのXY平面内での位置(θz回転を含む)は、Z・チルトステージ30の上面に設けられた移動鏡17を介して、位置検出系としてのウエハレーザ干渉計システム18によって、例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出されている。ここで、実際には、Z・チルトステージ30上には、例えば図4(A)に示されるように、走査方向(Y方向)に直交する反射面を有するY移動鏡17Yと非走査方向(X方向)に直交する反射面を有するX移動鏡17Xとが設けられ、これに対応してウエハレーザ干渉計システム18もY移動鏡に垂直に干渉計ビームを照射するY干渉計と、X移動鏡に垂直に干渉計ビームを照射するX干渉計とが設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡17、ウエハレーザ干渉計システム18として示されている。すなわち、本実施形態では、ウエハステージWSTの移動位置を規定する静止座標系(直交座標系)が、ウエハレーザ干渉計システム18のY干渉計及びX干渉計の測長軸によって規定されている。以下にお

いては、この静止座標系を「ステージ座標系」とも呼ぶ。なお、ウエハレーザ干渉計システム18のY干渉計及びX干渉計の少なくとも一方は、測長軸を複数有する多軸干渉計であり、この干渉計によって、ウエハステージWST（より正確には、Z・チルトステージ30）のθz回転（ヨーイング）も計測されている。

【0060】ウエハステージWSTのステージ座標系上における位置情報（又は速度情報）はステージ制御系19、及びこれを介して主制御系20に供給される。ステージ制御系19では、主制御系20の指示に応じ、ウエハステージWSTの上記位置情報（又は速度情報）に基づき、ウエハステージ駆動部24を介してウエハステージWSTを制御する。

【0061】投影光学系PLの側面には、オファクシス方式のマーク検出系としてのアライメント顕微鏡ASが設けられている。このアライメント顕微鏡ASとしては、ここでは、例えば特開2000-77295号公報などに開示されているような（Field Image Alignment（FIA）系）が用いられている。このアライメント顕微鏡ASは、所定の波長幅を有する照明光（例えば白色光）をウエハに照射し、ウエハ上の位置合わせマークとしてのアライメントマークの像と、対物レンズ等によってウエハと共に面内に配置された指標板上の指標マークの像とを、撮像素子（CCDカメラ等）の受光面上に結像して検出するものである。アライメント顕微鏡ASはアライメントマーク及び基準マーク板40上の第1基準マークの撮像結果を、主制御系20へ向けて出力する。

【0062】さらに、本実施形態の露光装置100では、ウエハWのZ方向位置は、図示は省略されているが、例えば特開平6-283403号公報等に開示される多点焦点位置検出系から成るフォーカスセンサによって計測されるようになっており、このフォーカスセンサの出力が主制御系20に供給され、主制御系20ではZ・チルトステージ30を制御していわゆるフォーカスレベリング制御を行なうようになっている。

【0063】主制御系20は、マイクロコンピュータ又はワークステーションを含んで構成され、装置の構成各部を統括して制御する。

【0064】次に、上述のようにして構成された本実施形態の露光装置100により、1ロット（例えば25枚）のウエハWに対して第2層目（セカンドレイヤ）以降の層の露光処理を行う際の動作について、説明する。

【0065】まず、不図示のレチクルローダによって、レチクルステージRST上にレチクルRがロードされる。このレチクルRのロード後、主制御系20では、レチクルアライメント及びベースライン計測を行う。具体的には、主制御系20では、ステージ制御系19及びウエハステージ駆動部24を介してウエハステージWST上の基準マーク板40を投影光学系PLの直下に位置決

めし、不図示のレチクルアライメント系を用いてレチクルR上の一对のレチクルアライメントマークと基準マーク板40上の前記一对のレチクルアライメントマークにそれぞれ対応するレチクルアライメント用の一对の第1基準マークMK1、MK3との相対位置を検出する。その後、主制御系20ではウエハステージWSTを所定量、例えばベースライン量の設計値だけXY面内で移動して、アライメント顕微鏡ASを用いて基準マーク板40上のベースライン計測用の第2基準マークMK2を検出する。ここで、第2基準マークMK2としては、位相パターン（ラインアンドスペース段差マーク）が用いられており、主制御系20では、このアライメント顕微鏡ASを用いての第2基準マークMK2の検出の際に、例えば特開2000-77295号公報に開示されるように、ウエハホルダ25をZ・チルトステージ30を介してZ軸方向に所定ステップで移動させながら、位相パターンのエッジに対応する像の非対称性又は位相パターンの凹凸部の像強度の差異を計測することにより、焦点位置を検出し、その位置（ベストフォーカス状態）で第2基準マークMK2の検出するようになっている。

【0066】また、主制御系20では、このとき得られるアライメント顕微鏡ASの検出中心と第2基準マークMK2の相対位置関係及び先に計測したレチクルアライメントマークと基準マーク板40上の第1基準マークMK1、MK3との相対位置と、それに対応するウエハレーザ干渉計システム18の計測値とに基づいて、ベースライン量（レチクルパターンの投影位置とアライメント顕微鏡ASの検出中心（指標中心）との相対位置関係）を計測する。

【0067】このような一連の準備作業が終了した時点で、以下に述べる、ウエハ処理動作が開始される。

【0068】まず、ウエハ処理動作では、不図示のウエハローダによってウエハホルダ25上にロット先頭（ロット内の第1枚目）のウエハWがロードされ、真空吸着される。

【0069】ウエハW上には、図4（A）に示されるように、複数のショット領域がマトリクス状に配列され、各ショット領域には前工程までの露光及び現像等によりそれぞれチップパターンが形成されている。また、各ショット領域には、アライメントマークAM1～AM4を用いて代表的に示されるように、位置合わせマークとしてのアライメントマークが付随して設けられている。なお、アライメントマークは、実際には、隣接ショット間のストリートライン上に設けられるが、ここでは、説明の便宜上、ショットの内部の位置に設けた場合が示されている。

【0070】また、このとき、ウエハWは、不図示のプリアライメント装置により、中心出しと回転位置合わせが行われている。また、このウエハロードの際のウエハステージWSTのヨーイングも前述したウエハレーザ干

涉計システム18によって管理されている。従って、ウエハWは、ウエハ中心から見たノッチ（V字状の切り欠き）の方向がステージ座標系上の+Y方向とほぼ一致する方向（以下、「180°の方向」という）でウエハホルダ25上にロードされる。このウエハロード後のウエハステージWST（ウエハW及びウエハホルダ25）の状態が、図4（A）に示されており、ここでのウエハWとウエハホルダ25の状態を以下の説明においては、「第1の状態」と呼ぶものとする。

【0071】ここで、ウエハホルダ25と、このウエハホルダ25上で保持されたウエハWとを用いたアライメント顕微鏡ASに起因する検出ずれである、TIS（Tool Induced Shift）の計測が開始される。

【0072】まず、主制御系20は、ウエハWに形成されたアライメントマークAMn（n=1, 2, 3, 4）の位置座標AMn₍₁₎（AM1₍₁₎, AM2₍₁₎, AM3₍₁₎, AM4₍₁₎）と、ウエハホルダ25に設けられた基準マークFMnの位置座標FMn₍₁₎（FM1₍₁₎, FM2₍₁₎, FM3₍₁₎, FM4₍₁₎）を計測する。

【0073】具体的には、ステージ制御系19が、主制御系20からの指示に応じ、ウエハレーザ干渉計システム18の計測値をモニタしつつ、ウエハステージWSTのXY2次元方向の移動を制御して基準マーク、アライメントマークをアライメント顕微鏡ASの真下に順次位置決めする。そして、位置決めの都度、主制御系20では、そのときのアライメント顕微鏡ASの計測値、すなわちその検出中心（指標中心）に対する検出対象のマークの位置の情報と、そのときのウエハレーザ干渉計システム18の計測値とを、メモリ内に順次格納する。この場合において、主制御系20では、例えば特開2000

$$H_{180} = (FM1_{(1)} + FM2_{(1)} + FM3_{(1)} + FM4_{(1)}) / 4 \dots \dots (4)$$

勿論、このH₁₈₀は実際には、2次元の座標値である。

【0077】次に、主制御系20は、第1の状態における

$$W_{180} = (AM1_{(1)} + AM2_{(1)} + AM3_{(1)} + AM4_{(1)}) / 4 \dots \dots (5)$$

勿論、このW₁₈₀は実際には、2次元の座標値である。

【0078】次いで、主制御系20は、第1の状態における、ホルダ中心位置とウエハ上の代表点とのX軸方向

$$L_{180x} = W_{180x} - H_{180x}$$

$$L_{180y} = W_{180y} - H_{180y}$$

【0079】ここで、第1の状態における、X軸方向の距離L_{180x}、Y軸方向の距離L_{180y}は、それぞれ次式（6）'、（7）'のように表すこともできる。

$$L_{180x} = (Wx + H_{180x} + TISx) - H_{180x} \\ = Wx + TISx \dots \dots (6)'$$

ここで、Wxは、ウエハホルダの中心を原点とし、かつ

$$L_{180y} = (Wy + H_{180y} + TISy) - H_{180y} \\ = Wy + TISy \dots \dots (7)'$$

ここで、Wyは、上記のホルダ座標系上における上記のウエハ上の代表点のY座標値（真の値）である。また、TISyは、アライメント顕微鏡ASのTISのY成分

—77295号公報に開示されるように、ウエハホルダ25をZ・チルトステージ30を介してZ軸方向に所定ステップで移動させながら、位相パターンから成る基準マークやアライメントマークのエッジに対応する像の非対称性、又は凹凸部の像強度の差異を計測することにより、焦点位置を検出し、その位置（ベストフォーカス状態）で各マークを検出するようになっている。

【0074】ここで、上記の各マークの計測順序としては、図5（A）に示されるようにウエハW上のアライメントマークAMnを円周に沿って順に計測し、その後ウエハホルダ25上の基準マークFMnを円周に沿って順に計測するようにも良いし、あるいは、計測時間及びウエハステージWSTの駆動距離を短縮するため、図5（B）に示されるように円周に沿って、アライメントマークAMnと基準マークFMnを交互に計測するようにも良い。

【0075】次に、主制御系20では、上述の計測により得られた、各計測結果と先に計測したベースライン量に基づいて、ウエハWに形成されたアライメントマークAMn（n=1, 2, 3, 4）のステージ座標系上における位置座標AMn₍₁₎（AM1₍₁₎, AM2₍₁₎, AM3₍₁₎, AM4₍₁₎）と、ウエハホルダ25に設けられた基準マークFMnのステージ座標系上における位置座標FMn₍₁₎（FM1₍₁₎, FM2₍₁₎, FM3₍₁₎, FM4₍₁₎）とを算出する。

【0076】次に、主制御系20では、次の式（4）の演算を行って、ウエハWの向きが180°の方向に設定された第1の状態におけるウエハホルダ25の中心位置H₁₈₀を求める。

$$\dots \dots (6)$$

$$\dots \dots (7)$$

ステージ座標系（X, Y）に平行な座標軸を有するホルダ座標系上における上記のウエハ上の代表点のX座標値（真の値）である。また、TISxは、アライメント顕微鏡ASのTISのX成分である。

【0080】

である。

【0081】上述のようにして、第1の状態における計測が終了すると、主制御系20からの指示に応じて、ス

ステージ制御系19により、上下動・回転機構74が制御され、ウエハWを吸着保持した状態でウエハホルダ25が図2に示される程度まで上昇される。そして、所定高さまで上昇したところで、前記ステージ制御系19により、上下動・回転機構74を介してウエハホルダ25が180°回転される。その後、ステージ制御系19により、上下動・回転機構74が制御され、ウエハホルダ25が元の高さまで下降される。なお、この180°回転後におけるウエハW及びウエハホルダ25の状態が図4(B)に示されており、以下においては、この状態を「第2の状態」と呼ぶものとする。

【0082】この第2の状態では、ウエハWは、ノッチの方向がウエハ中心から見て-Y方向に一致する0°の方向を向いている。そして、上述した第1の状態の場合と同様にして、主制御系20の管理の下、アライメント

$$H_0 = (FM1_{(2)} + FM2_{(2)} + FM3_{(2)} + FM4_{(2)}) / 4 \dots (8)$$

勿論、このH0は実際には、2次元の座標値である。

【0085】次に、主制御系20は、第2の状態における

$$W_0 = (AM1_{(2)} + AM2_{(2)} + AM3_{(2)} + AM4_{(2)}) / 4 \dots (9)$$

勿論、このW0は実際には、2次元の座標値である。

【0086】次いで、主制御系20は、第2の状態におけるホルダ中心位置とウエハ上の代表点PとのX軸方向の距離L0x、Y軸方向の距離L0yを、次式(10)、(11)にそれぞれ基づいて算出し、それらの算出結果をメモリに記憶する。

$$L_0x = H_0x - W_0x \dots (10)$$

$$L_0y = H_0y - W_0y \dots (11)$$

【0087】ここで、「第1の状態」から「第2の状

$$\begin{aligned} L_0x &= H_0x - (H_0x - Wx + TISx) \\ &= Wx - TISx \dots (10)' \\ L_0y &= H_0y - (H_0y - Wy + TISy) \\ &= Wy - TISy \dots (11)' \end{aligned}$$

【0088】上記の式(6)'、式(10)'、及び式(7)'、式(11)'より、次のようなTISx、T

$$TISx = (L_{180}x - L_0x) / 2$$

$$TISy = (L_{180}y - L_0y) / 2$$

【0089】そこで、主制御系20は、上式(12)、(13)に基づいてアライメント顕微鏡ASのTISのX成分、Y成分を算出する。

【0090】以上のようにして求められたアライメント顕微鏡ASのTISは、第2の状態で計測されたアライメントマークの位置座標AMn(2) (AM1(2)、AM2

$$AMn_{(0)} = AMn_{(2)} - TIS$$

この補正後の値を基に、例えば特開昭61-44429号公報等に詳細に開示される最小二乗法を用いた統計演算により、ウエハW上のショット領域の配列座標を算出するエンハンスト・グローバル・アライメント(EG A)方式によるファインアライメントを行う。

【0092】次いで、主制御系20では、ウエハW上の各ショット領域をステップ・アンド・スキャン方式で露

マークAMn (n = 1, 2, 3, 4) の位置座標AMn(2) (AM1(2), AM2(2), AM3(2), AM4(2)) と、ウエハホルダ25に設けられた基準マークFMnの位置座標FMn(2) (FM1(2), FM2(2), FM3(2), FM4(2)) の計測が行われる。

【0083】この場合においても、実際に測定されたアライメントマークの計測値にはアライメント顕微鏡ASのTISが含まれている。一方、基準マークの計測値に含まれるアライメント顕微鏡ASのTISはゼロとみなせる。

【0084】次に、主制御系20では、次式(8)の演算を行って、ウエハWの向きが0°の方向に設定された第2の状態におけるウエハホルダ25の中心位置H0を求める。

$$H_0 = (FM1_{(2)} + FM2_{(2)} + FM3_{(2)} + FM4_{(2)}) / 4 \dots (8)$$

勿論、このH0は実際には、2次元の座標値である。

$$W_0 = (AM1_{(2)} + AM2_{(2)} + AM3_{(2)} + AM4_{(2)}) / 4 \dots (9)$$

勿論、このW0は実際には、2次元の座標値である。

【0086】次いで、主制御系20は、第2の状態におけるホルダ中心位置とウエハ上の代表点PとのX軸方向の距離L0x、Y軸方向の距離L0yを、次式(10)、(11)にそれぞれ基づいて算出し、それらの算出結果をメモリに記憶する。

$L_0x = H_0x - W_0x \dots (10)$

$L_0y = H_0y - W_0y \dots (11)$

【0087】ここで、「第1の状態」から「第2の状態」へと移る際には、ウエハホルダ25とウエハWの位置関係が一定に保たれた状態で、ウエハホルダ25の回転軸の中心(ウエハホルダの中心にほぼ一致)を中心としてウエハWを保持したウエハホルダ25が180°回転され、かつアライメント顕微鏡ASは同一の姿勢を維持している。従って、ホルダ中心位置とウエハ上の代表点PとのX軸方向の距離L0x、Y軸方向の距離L0yは、それぞれ次式(10)', (11)'のように表すことができる。

$$\begin{aligned} L_0x &= H_0x - (H_0x - Wx + TISx) \\ &= Wx - TISx \dots (10)' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_0y &= H_0y - (H_0y - Wy + TISy) \\ &= Wy - TISy \dots (11)' \end{aligned}$$

TISの算出式が得られる。

$$TISx = (L_{180}x - L_0x) / 2 \dots (12)$$

$$TISy = (L_{180}y - L_0y) / 2 \dots (13)$$

(2)、AM3(2)、AM4(2)から差し引かれ、真のアライメントマークの位置AMn(0)が求められる。

【0091】すなわち、主制御系20では、次式(14)に基づいて、アライメントマーク位置の計測結果にTIS補正を行う。

$$AMn_{(0)} = AMn_{(2)} - TIS \dots (14)$$

光する。この露光動作は、次のようにして行われる。

【0093】すなわち、ステージ制御系19では、主制御系20から前述のアライメント結果に基づいて与えられる指令に応じ、X軸、Y軸干渉計の計測値をモニタしつつ、ウエハステージ駆動部24を制御してウエハWの第1ショットの露光のための走査開始位置にウエハステージWSTを移動する。このとき、アライメント結果と

して、アライメント顕微鏡ASのTISを補正したアライメントマークの位置情報が用いられ、これに応じて求められたショット配列座標に基づいて走査開始位置が算出されているので、上記の主制御系20からの指令に応じてウエハステージWSTを移動すれば、結果的にアライメント顕微鏡ASのTISを補正するように、ウエハステージWST（ウエハホルダ25）の位置制御が行われることとなる。

【0094】次に、ステージ制御系19では、主制御系20の指示に応じてレチクルRとウエハW、すなわちレチクルステージRSTとウエハステージWSTとのY軸方向の相対走査を開始する。両ステージRST、WSTがそれぞれの目標走査速度に達し、等速同期状態に達すると、照明系10からの紫外パルス光によってレチクルRのパターン領域が照明され始め、走査露光が開始される。上記の相対走査は、ステージ制御系19が、前述したウエハレーザ干渉計システム18及びレチクル干渉計16の計測値をモニタしつつ、不図示のレチクル駆動部及びウエハステージ駆動部24を制御することにより行われる。

【0095】ステージ制御系19は、特に上記の走査露光時には、レチクルステージRSTのY軸方向の移動速度V_rとウエハステージWSTのY軸方向の移動速度V_wとが、投影光学系PLの投影倍率（1/4倍あるいは1/5倍）に応じた速度比に維持されるように同期制御を行う。

【0096】そして、レチクルRのパターン領域の異なる領域が紫外パルス光で逐次照明され、パターン領域全面に対する照明が完了することにより、ウエハW上の第1ショットの走査露光が終了する。これにより、レチクルRのパターンが投影光学系PLを介して第1ショットに縮小転写される。

【0097】上述のようにして、第1ショットの走査露光が終了すると、主制御系20からの指示に基づき、ステージ制御系19により、ウエハステージ駆動部24を介してウエハステージWSTがX、Y軸方向にステップ移動され、第2ショットの露光のための走査開始位置に移動される。

【0098】そして、主制御系20の指示に応じて、ステージ制御系19、及び不図示のレーザ制御装置により、上述と同様に各部の動作が制御され、ウエハW上の第2ショットに対して上記と同様の走査露光が行われる。

【0099】このようにして、ウエハW上のショットの走査露光と次ショット露光のためのステッピング動作とが繰り返し行われ、ウエハW上の露光対象ショットの全てにレチクルRのパターンが順次転写される。

【0100】ウエハW上の全露光対象ショットへのパターン転写が終了すると、次のウエハと交換され、上記と同様のアライメント、露光動作が行なわれる。但し、ロ

ット内の第2枚目以降のウエハについては、上述したアライメント顕微鏡のTIS計測は省略できる。これは、同一ロット内のウエハについては、同一プロセスを経て同一のアライメントマークが形成されているので、ロット先頭のウエハを計測して求めたTISの値をそのまま用いて、アライメント計測結果にTIS補正を行っても十分高精度なTIS補正が可能だからである。

【0101】従って、ロット内の第2枚目以降のウエハについては、基準マークFM1～FM4の位置計測を省略し、予め選択された特定の複数のショット領域（サンプルショット）に付設されたアライメントマークの位置計測のみを行って、EGA方式のウエハアライメントを行うだけで良い。

【0102】これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、ウエハレーザ干渉計システム18、主制御系20、ウエハホルダ25、上下動・回転機構74等によって、アライメント顕微鏡ASのTISを計測する計測装置が構成されている。また、主制御系20によって、第1の検出制御系、第2の検出制御系、演算装置が構成され、該主制御系20とステージ制御系19とによって制御装置が構成されている。

【0103】以上詳細に説明したように、本実施形態の露光装置100によると、ウエハステージWST上でウエハホルダ25の向きが所定方向に設定されている「第1の状態」で、アライメント顕微鏡ASとウエハレーザ干渉計システム18とを用いて、ウエハホルダ25上に形成された基準マークFM1～FM4の位置情報と、ウエハホルダ25上に搭載されたウエハW上のアライメントマークAM1～AM4の位置情報が検出され、更にウエハホルダ25を「第1の状態」から180°回転させた「第2の状態」で、「第1の状態」において位置情報が検出された各マークの位置情報が、再び検出される。そして、それぞれの検出結果を用いてアライメント顕微鏡ASに起因する検出誤差、すなわちTISが算出される。また、TIS計測を、実プロセスのウエハを用いて行うことができるので、工具ウエハを用意する必要がなくなるとともに、実際に露光に用いられるウエハ上のアライメントマークの位置計測結果に基づいてTISが算出される。従って、実プロセスのウエハに対するアライメント顕微鏡ASのTISを、短時間でかつ精度良く計測することができる。

【0104】また、このようにして求められたアライメント顕微鏡ASのTISを、実際に計測された値から差し引き、その値に基づいてレチクルRとウエハW上の各ショット領域との位置合わせ（ファインアライメント）が行なわれる。重ね合せ精度の向上により、高精度な露光を実現することが可能となる。

【0105】また、本実施形態では、ウエハを保持するウエハホルダ25が、ウエハステージWST上ではほぼ180°の回転が可能な構成となっている。従って、前述

した工具ウェハを用いた従来のアライメント顕微鏡のTIS計測を行う場合であっても、ウェハホルダ25の向きが所定の方向に設定されている「第1の状態」から「第2の状態」へ移るだけで計測が可能となる。従つて、ウェハを取り外し、180°回転した後、再度基板ホルダに搭載するという工程が不要となるとともに、その回転の前後のウェハの位置ずれ等も防止することができる。従つて、本実施形態のステージ装置は、アライメント顕微鏡のTIS計測に好適に用いることができる。

【0106】なお、上記実施形態では、ウェハホルダ上に計測用基準板（基準マーク）を4つ設け、これら4つの基準マークを全て位置計測の対象とし、これに対応してウェハW上のアライメントマークの内から4つのアライメントマークを選択し、これらのアライメントマークの位置計測を行い、4つの基準マークの位置の平均、4つのアライメントマークの位置の平均を、位置情報として、それぞれ用い、これらの位置情報に基づいてアライメント顕微鏡ASのTISを算出する場合について説明した。しかしながら、本発明がこれに限定されることは勿論である。

【0107】すなわち、マーク検出系に起因する検出誤差の算出のための位置情報を求めるための基準マーク、アライメントマークの位置情報の数は、特に限定されるものではなく、基準マークとアライメントマークとの位置関係が求められれば良い。従つて、基準マーク、アライメントマークはともに1つであっても良く、あるいは一方のみが1つであっても良い。

【0108】また、上記実施形態では、複数の基準マーク、複数のアライメントマークの位置をそれぞれ計測し、それぞれの計測結果を平均化する場合について説明したが、この統計処理として、最小二乗法を用いても良い。

【0109】すなわち、上述したEGA方式によるウェハアライメントでは、例えば次式（15）で示されるような（a, b, c, d, O_x, O_y）の合計6つの未知パラメータ（誤差パラメータ）を含むウェハ上のショット配列座標を示すモデル式を仮定する。式（15）にお

$$\begin{aligned}\Delta OFF_{180}x &= O_{180}x - HO_{180}x \\ \Delta OFF_0x &= HO_0x - O_0x \\ \Delta OFF_{180}y &= O_{180}y - HO_{180}y \\ \Delta OFF_0y &= HO_0y - O_0y\end{aligned}$$

【0115】ここで、ウェハ、ウェハホルダのX方向に関する真のオフセット値をO_x, HO_xとすると、式

$$\begin{aligned}\Delta OFF_{180}x &= (O_x + TIS_x) - HO_x \\ &= O_x - HO_x + TIS_x \quad \dots (16) \\ \Delta OFF_0x &= -HO_x - (-O_x + TIS_x) \\ &= O_x - HO_x - TIS_x \quad \dots (17)\end{aligned}$$

【0116】同様に、ウェハ、ウェハホルダのY方向に関する真のオフセット値をO_y, HO_yとすると、式

$$\Delta OFF_{180}y = (O_y + TIS_y) - HO_y$$

いて、Fx_n, Fy_nは、ウェハW上のショット領域のステージ座標系上における位置決め目標位置のX座標、Y座標である。また、Dx_n, Dy_nは、ショット領域の設計上のX座標、Y座標である。

【0110】

【数 1】

$$\begin{bmatrix} Fx_n \\ Fy_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Dx_n \\ Dy_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix} \quad \dots (15)$$

【0111】そして、上記のアライメントマークの計測により得られた配列座標の情報（実測値）と上記モデル式で定まる計算上の配列座標との平均的な偏差が最小となるように、上記6つのパラメータを決定する。そして、決定されたパラメータを上記モデル式に代入することにより、各ショット領域の配列座標を演算により求め。ここで、6つのパラメータの中には、ショット配列のステージ座標系に対するX方向、Y方向へのオフセットO_x, O_yが含まれている。そこで、主制御系20では、上記実施形態と同様にしてアライメントマークの位置計測を行い、この計測結果を用いてオフセットO_x, O_yを第1の状態、第2の状態のそれぞれで求める。

【0112】また、ウェハホルダ25上の基準マークFM1～FM4の配列座標のステージ座標系からのX方向、Y方向のオフセットHO_x, HO_yを未知パラメータとして含むモデル式を、EGA方式のウェハアライメントと同様に仮定する。そして、基準マークFM1～FM4についての位置計測結果から得られる位置情報と、上記モデル式で定まる計算値との偏差が最小となるように、最小自乗法を用いてX方向、Y方向のオフセットHO_x, HO_yを決定する。主制御系20では、上記実施形態と同様にして基準マークの位置計測を行い、この計測結果を用いてオフセットHO_x, HO_yの算出を第1の状態、第2の状態のそれぞれで行う。

【0113】そして、主制御系20では、それぞれのオフセット同士の差ΔOFF₁₈₀x, ΔOFF₀x, ΔOFF₁₈₀y, ΔOFF₀yを、次式（16）～（19）に基づいて算出し、メモリ内に記憶する。

【0114】

$$\dots (16)$$

$$\dots (17)$$

$$\dots (18)$$

$$\dots (19)$$

（16）、（17）は、次のように表される。

$$\Delta OFF_{180}x = (O_x + TIS_x) - HO_x$$

$$= O_x - HO_x + TIS_x \quad \dots (16)$$

$$\Delta OFF_0x = -HO_x - (-O_x + TIS_x)$$

$$= O_x - HO_x - TIS_x \quad \dots (17)$$

（18）、（19）は、次のように表される。

$$=Oy - HOy + TISy \quad \dots \dots (18)$$

$$\Delta OFF_0y = -HOy - (-Oy + TISy) \\ = Oy - HOy - TISy \quad \dots \dots (19)$$

【0117】式(16)'と式(17)'より、アライ

$$TISx = (\Delta OFF_{180}x - \Delta OFF_0x) / 2 \dots \dots (20)$$

となる。また、式(18)'と式(19)'より、アラ

$$TISy = (\Delta OFF_{180}y - \Delta OFF_0y) / 2 \dots \dots (21)$$

となる。

【0118】そこで、主制御系20では、式(20)、(21)に基づいて、TISx、TISyを算出し、これらの算出結果を用いて、第2の状態で得られたウエハのオフセットを補正した値を新たなOx、Oyとする。

【0119】そして、主制御系20では、新たなOx、Oyを含む全てのパラメータが決定された式(15)のモデル式を用いて、ウエハW上のショット領域の配列座標を算出する。そして、この配列座標に従って、主制御系20からの指示に応じて、ステージ制御系19によって、ウエハステージWST(ウエハホルダ25)の位置が制御されつつ、前述した実施形態と同様のステップ・アンド・スキャン方式の露光が行われる。この露光の際に、結果的にアライメント顕微鏡ASのTISを補正するように、ウエハステージWST(ウエハホルダ25)の位置制御が行われることとなる。

【0120】なお、ウエハのアライメントの方式としては、上述したEGA方式に限らず、ダイ・バイ・ダイ方式を採用しても良く、この場合においても、計測されるそれぞれのショット座標を、上記のようにして予め求めたアライメント顕微鏡ASのTISを用いて補正することとすれば良い。

【0121】ここで、上述した実施形態では、ウエハホルダをほぼ180°回転するものと記載している。ホルダの回転としては、理想的には180°±0°であることが好ましい。しかしながら、回転機構を実現する手段による精度的制約と、TIS計測上要求される精度により、実際には、180°に対して許容値(例えば180°±10分程度、数mrad程度)を含んだ回転角であれば良く、このためほぼ180°という表現を用いている。すなわち、本明細書中で記述した「ほぼ180°」とは、180°に対して上記許容値を含んだ回転角である。

【0122】また、ウエハホルダにおける基準マークの配置の方法としては、上記各実施形態に示した、ウエハホルダ上に基準マークの形成された計測用基準板を固定する方法に限らず、ウエハホルダに基準マークを直接形成する方法を探ることもできる。この場合には、ホルダ中央部に凹部を設け、ウエハ表面と、ウエハホルダ表面が同一高さとされることが望ましく、ウエハホルダの材質としては剛性が高く、熱膨張率の低い材料を用いることが望ましい。

【0123】なお、上記実施形態では、1つのウエハス

メント顕微鏡ASのTISのX方向成分は、

$$TISx = (\Delta OFF_{180}x - \Delta OFF_0x) / 2 \dots \dots (20)$$

メント顕微鏡ASのTISのY方向成分は、

$$TISy = (\Delta OFF_{180}y - \Delta OFF_0y) / 2 \dots \dots (21)$$

テージと1つのオフアクシスアライメント顕微鏡ASとを有する露光装置に本発明を適用した場合について説明したが、本発明はこれに限られず、例えば特開平10-163098号などで開示されるようなダブルステージタイプで2つのアライメント系(FIA)を有する露光装置に対しても適用可能であり、各FIAのTISをそれぞれ計測することもできる。

【0124】なお、上記各実施形態では、光源としてKrFエキシマレーザ光源などの紫外光源、F2レーザ、ArFエキシマレーザ等の真空紫外域のパルスレーザ光源を用いるものとしたが、これに限らずAr2レーザ光源(出力波長126nm)などの他の真空紫外光源を用いても良い。また、例えば、真空紫外光として上記各光源から出力されるレーザ光に限らず、DFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム(Er)(又はエルビウムとイッテルビウム(Yb)の両方)がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

【0125】なお、上記各実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式等の走査型露光装置に本発明が適用された場合について説明したが、本発明の適用範囲がこれに限定されないことは勿論である。すなわちステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置にも本発明は好適に適用できる。

【0126】なお、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み、光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整(電気調整、動作確認等)をすることにより、上記実施形態の露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0127】なお、本発明は、半導体製造用の露光装置に限らず、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられるデバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子(CCDなど)、マイクロマシン、DNAチップなどの製造に用いられる露光装置などにも適用することができる。また、半導体素子などのマイク

ロデバイスだけでなく、光露光装置、EUV露光装置、X線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、DUV(遠紫外)光やVUV(真空紫外)光などを用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドープされた石英ガラス、螢石、フッ化マグネシウム、又は水晶などが用いられる。また、プロキシミティ方式のX線露光装置、又は電子線露光装置などでは透過型マスク(ステンシルマスク、メンブレンマスク)が用いられ、マスク基板としてはシリコンウエハなどが用いられる。

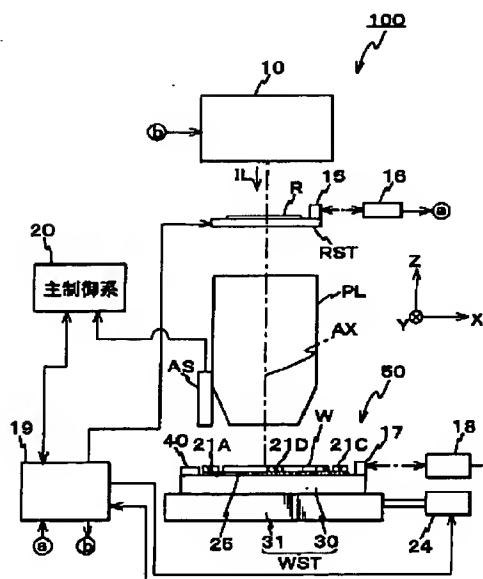
【0128】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係るステージ装置は、例えば、アライメント顕微鏡のTIS計測に好適に用いることができる。

【0129】また、本発明に係る計測装置及び計測方法によれば、実プロセスの基板に対するマーク検出系に起因する検出ずれを、短時間でかつ精度良く計測することができるという効果がある。

【0130】本発明に係る露光装置及び露光方法によれば、露光精度を向上することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】



【図1】

【図1】一実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1のZ・チルトステージをウエハホルダとともに一部破断して示す図である。

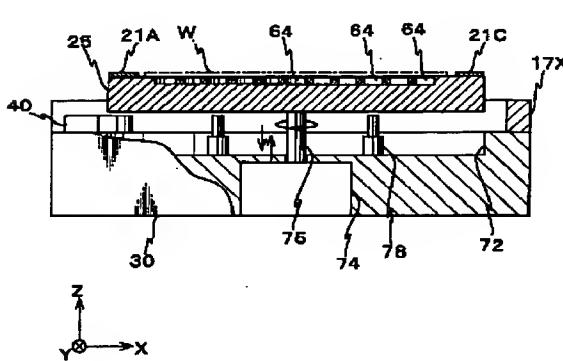
【図3】計測用基準板上に形成された基準マークを示す拡大図である。

【図4】図4(A)、(B)は、一実施形態に係る露光装置における、アライメント顕微鏡のTISの算出方法を説明するための図である。

【図5】図5(A)、(B)は、アライメントマークと基準マークの計測の順番の例を具体的に示す図である。

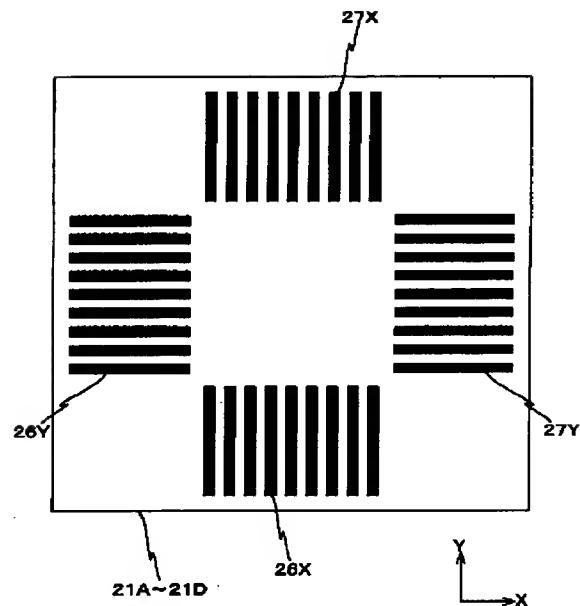
【符号の説明】

18…ウエハレーザ干渉計システム(位置検出系、計測装置の一部)、19…ステージ制御系(制御装置の一部)、20…主制御系(第1の検出制御系、第2の検出制御系、演算装置、計測装置の一部、制御装置の一部)、25…ウエハホルダ(基板ホルダ、ステージ装置の一部、計測装置の一部)、50…ステージ装置、74…上下動・回転機構(駆動装置、ステージ装置の一部、計測装置の一部)、100…露光装置、AS…アライメント顕微鏡(マーク検出系)、AMn…アライメントマーク(位置合わせマーク)、FMn…基準マーク、IL…照明光(エネルギービーム)、W…ウエハ(基板)、WST…ウエハステージ(ステージ、ステージ装置の一部)。

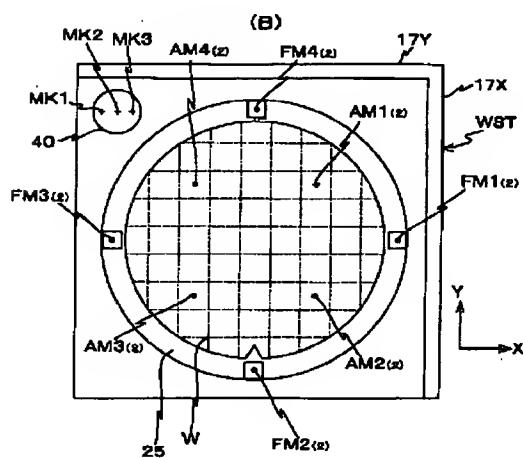
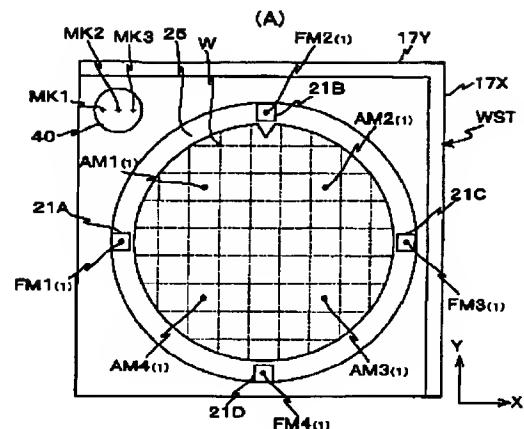


【図2】

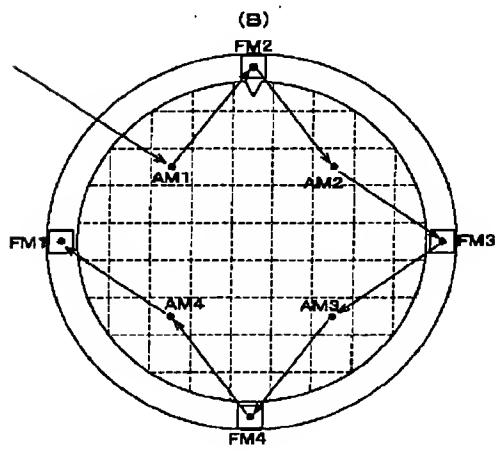
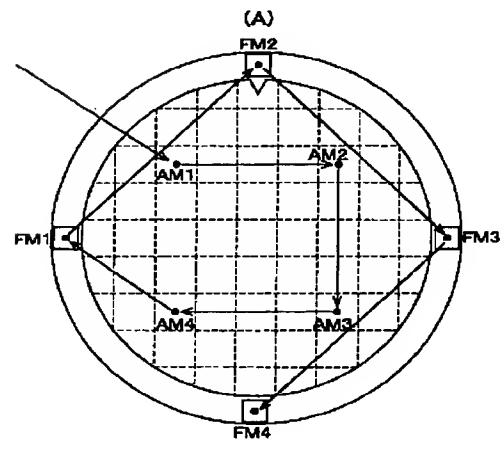
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2F065 AA03 BB02 CC20 DD03 FF01
GG04 JJ26 LL04 LL20 LL21
LL62 MM03 MM04 QQ23 QQ25
QQ41
2F078 CA02 CA08 CB12 CC11
5F046 BA05 CC01 CC13 ED02 FA10
FA17 FC04 FC10